

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMATICAS**

**CONSEJO SUPERIOR
DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS**

INSTITUTO DE ASTRONOMIA Y GEODESIA

(Centro mixto C.S.I.C. - U.C.M.). MADRID

Publicación núm. 153

CONSTREÑIMIENTOS INTERNOS EN LA COMPENSACION DE ESTACIONES

por

A. G. CAMACHO y M. D. MARTIN

**PUBLICADO EN «TOPOGRAFÍA Y CARTOGRAFÍA»
Vol. II, núm. 13, págs. 42-46**

**M A D R I D
1 9 8 6**

CONSTREÑIMIENTOS INTERNOS EN LA COMPENSACION DE ESTACION

A.G. Camacho y M.D. Martín.

Instituto de Astronomía y Geodesia

C.S.I.C.- U.C.M.

Abstract: We present the application of the inner adjustment constraints to the station adjustment as an easy mean to obtain adjusted directions with calculated errors for a posterior triangulation adjustment. Also we present a program of numeric calculation with an example of results.

1. Introducción

En los vértices de las triangulaciones geodésicas o topográficas de precisión suelen observarse pares de direcciones en diversas combinaciones (por ejemplo, según el método de Schreiber de vuelta de horizonte) determinándose inmediatamente los correspondientes ángulos horizontales formados. Generalmente se observan más ángulos (pares de direcciones) de los estrictamente necesarios para establecer la configuración geométrica de las direcciones y los ángulos formados. Para dar unos valores únicos de la orientación de las direcciones y de los ángulos formados de modo que se cumplan las propiedades geométricas de la figura (suma de ángulos entre direcciones adyacentes igual a 360°) y las correspondientes a la redundancia, ha de procederse a una compensación a partir de los valores observados para los diversos ángulos, determinando los valores más probables y únicos de las direcciones y los ángulos, así como las medidas de la precisión. Consideraremos aquí el ajuste mínimos cuadrados.

Un procedimiento habitual para la resolución de este problema consiste en establecer el ajuste mínimos cuadrados en el modelo de ecuaciones de condición que han de verificar los ángulos compensados según la superabundancia de éstos (así, el

número de condiciones resultantes es igual al número de ángulos medidos más uno menos el número de direcciones afectadas concurrentes en el vértice). La resolución de las ecuaciones de condición tomando como incógnitas las correcciones a los ángulos observados sigue el proceso habitual para este tipo de sistemas, determinándose los valores más probables de los ángulos y sus medidas de la precisión (matriz de varianza-covarianza, errores medios cuadráticos). Conocidos los ángulos, pueden determinarse unos valores de las direcciones (orientación o ángulo de cada dirección con respecto a un eje fijo) sin más que asignar un valor previo a una determinada dirección e ir sumando convenientemente los ángulos determinados. El valor asignado a la dirección de referencia puede ser elegido arbitrariamente, determinado por otros procedimientos diferentes, conocido previamente, etc., y representa la constante de orientación para las direcciones en ese vértice. Para cálculos y ajustes posteriores (ajuste de una triangulación a partir de direcciones) puede suponerse la constante de orientación afectada de una corrección incógnita.

Los problemas que este método de compensación nos ha presentado en su desarrollo y en la posterior utilización de resultados (resolución de triangulaciones) son dos. En primer lugar la larga y engorrosa programación automática de las ecuaciones. En segundo lugar, este método determina la precisión de los ángulos observados, no siendo inmediato determinar unos valores acordes con los anteriores para las precisiones de las direcciones determinantes de dichos ángulos. Ello dificulta la aplicación de las observaciones horizontales, realizadas en un vértice y representadas mediante direcciones y sus precisiones, a una triangulación general con incógnitas las correcciones a las direcciones de los lados y las correcciones a las constantes de orientación de los vértices.

En estas circunstancias, hemos planteado la compensación de estación y su aplicación desde otro punto de vista: la compensación de ecuaciones

de observación (tantas como ángulos observados) con incógnitas las direcciones concurrentes en el vértice. El correspondiente sistema resulta deficiente de rango. Analizaremos esta deficiencia y procuraremos resolverla mediante la técnica de constreñimientos, en este caso de ajuste interno. La resolución del sistema conjunto nos permitirá obtener la solución mínimos cuadrados, con las propiedades de norma mínima y mínimo sesgo, en incógnitas las direcciones, obteniendo así mismo la matriz de varianza-covarianza y los errores medios cuadráticos de dichas direcciones. Los valores más probables de los ángulos se determinan inmediatamente. Así mismo, la programación del método y la aplicación posterior al cálculo de triangulación resultan más simplificadas.

Presentaremos en un apéndice el programa de cálculo en FORTRAN IV que utilizamos como aplicación del método para la compensación de estación.

2. Ecuaciones de observación

Supongamos un vértice estación desde el cual se consideran n direcciones entre las cuales se han observado m diversos ángulos ($m \geq n$ para poder disponer de observaciones superabundantes y considerar la compensación de estación) de modo que

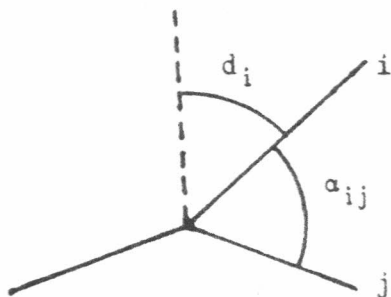


Fig. 1. Ángulos y direcciones.

cada dirección se vea involucrada al menos en uno de los ángulos observados. Llamaremos d_i ($i=1, \dots, n$) a la orientación o ángulo positivo que forma la dirección i con una dirección o eje de referencia. Si llamamos α_{ij} al ángulo formado por las direcciones i, j , entonces:

$$\alpha_{ij} = d_j - d_i$$

Sean α_{ij}^0 los valores observados de los m ángulos. Si asignamos un valor provisional d_i^c (conocido previamente, estimado o elegido arbitrario) a una dirección arbitraria, por ejemplo la 1, utilizando los valores α_{ij}^0 podemos asignar unos valores provisionales aproximados d_i^c , $i=1, \dots, n$, para las diversas direcciones. A partir de éstos podemos determinar unos α_{ij}^c provisionales, en la forma:

$$\alpha_{ij}^c = d_j^c - d_i^c$$

Con esto, las ecuaciones de observación en incógnitas las correcciones δd_i , $i=1, \dots, n$, a las direcciones provisionales serán, en forma matricial:

$$A x - t = v$$

donde:

$x = (\delta d_1, \dots, \delta d_n)^T$ es el n -vector columna de parámetros,

$t = (t_1, \dots, t_m)^T$ es el m -vector columna de constantes,

$v = (v_1, \dots, v_m)^T$ es el m -vector columna de residuales,

y $A = (a_{kl})$ es la (m, n) -matriz de diseño.

Si la ecuación k -ésima, $k=1, \dots, m$, corresponde al par (i, j) de direcciones observadas, $i, j=1, \dots, n$, se verifica:

$$t_k = \alpha_{ij}^0 - d_j^c + d_i^c$$

y:

$$a_{kl} = 0 \quad \text{para } l = 1, \dots, n, \quad l \neq i, \quad l \neq j$$

$$a_{ki} = -1 \quad a_{kj} = 1$$

Supondremos además que dado un l existe al menos un k tal que $a_{kl} \neq 0$ (de modo que toda dirección esté involucrada al menos en una ecuación).

Así mismo supongamos conocida la matriz P de pesos (en general de varianzas-covarianzas) de las observaciones, deducida, por ejemplo, del análisis de las diversas series y medidas realizadas en la observación de cada ángulo.

Buscaremos la solución mínimos cuadrados \hat{x} (tal que el correspondiente \hat{v} verifique $\hat{v}^T P \hat{v} = \text{mín.}$) (indicamos con $\hat{}$ los valores compensados).

3. Deficiencia de rango

Desde el punto de vista analítico, la (m, n) -matriz A , con $m \geq n$, es deficiente de rango. En efecto, podemos suponer dicha matriz como compuesta de m vectores fila, $A = (a_k) \quad k=1, \dots, m, \quad a_k = (a_{k1}, \dots, a_{kn})$. Las componentes de estos m n -vectores fila a_k verifican:

$$\sum_{l=1}^n a_{kl} = 0, \quad k=1, \dots, m$$

En consecuencia, dichos vectores representan puntos, dentro de un espacio n -dimensional, situados en el hiperplano $x_1 + \dots + x_n = 0$ (y también en la hiperesfera de radio $\sqrt{2}$ $x_1^2 + \dots + x_n^2 = 2$). Resulta entonces que el conjunto de los m n -vectores $a_k, k=1, \dots, m$, engendran una variedad lineal S_n de dimensión menor o igual que $n-1$. (Obsérvese que, por conveniencia de notación, el subíndice n expresa, no la dimensión de la variedad, como es habitual, sino el número de componentes de los vectores, o lo que es lo mismo, la dimensión del espacio en que está inmersa). Demostraremos ahora, por inducción sobre n , que $\dim. S_n \geq n-1$.

Sea $S_n = \{\mu_1 a_1 + \dots + \mu_n a_n, \mu_i \in \mathbb{R}\}$.

Para $n=2$ es $S_2 = \{\mu(1, -1), \mu \in \mathbb{R}\}$ y

$$\dim.S_2 = 1 \geq 2-1.$$

Supongamos que $\dim.S_{n-1} = r \geq n-2$ y sea v_1, \dots, v_r una base de S_{n-1} formada por vectores de $n-1$ componentes. Consideremos los r n -vectores obtenidos añadiendo a los anteriores v_i una componente nula, en la forma $(v_1, 0), \dots, (v_r, 0)$. Estos son r n -vectores independientes de S_n . Según las hipótesis sobre las filas de A , dado $l \in \{1, \dots, n\}$ existe $k \in \{1, \dots, m\}$ tal que $a_{kl} = 1$ o $a_{kl} = -1$. Luego, en particular, dado $l=n$ existirá un k de modo que el correspondiente vector fila será de la forma $a_k = (0 \dots 1 \dots 0, 1)$ o $a_k = (0 \dots 1 \dots 0, -1)$, con 1 o -1 en la última componente y el resto ceros salvo un -1 o 1 en alguna otra posición. Evidentemente este a_k no es combinación lineal de los r vectores $(v_i, 0)$, y, sin embargo, $a_k \in S_n$. Luego, $\dim.S_n \geq r+1 \geq n-2+1 = n-1$. En definitiva, el rango de la matriz A es $n-1 < n \leq m$, y la deficiencia de rango es 1 .

Desde un punto de vista más físico o geométrico, la medida de los ángulos entre las diversas direcciones concurrentes sólo nos permite conocer orientaciones relativas. Las direcciones resultan determinadas salvo una constante aditiva (giro de la vuelta de horizonte). Así pues, tenemos una indeterminación en traslación (constante aditiva para todos los parámetros). Salvaremos dicha indeterminación añadiendo una ecuación de constreñimientos (Bjerhammar, 1973).

Una posibilidad sería suponer fija una dirección, por ejemplo la 1 , en su valor provisional. Realizada la compensación, el error resultante en la dirección 1 sería nulo, mientras que la totalidad del error se recargaría en las otras direcciones.

Para una posterior aplicación de direcciones y errores a un cálculo de triangulación hemos preferido considerar los constreñimientos internos. Para éstos la solución no se diferencia de la que co-

responde a fijar una dirección, salvo en un pequeño ángulo global constante (que incluso puede añadirse o quitarse al final para algunos propósitos). Sin embargo, la distribución de errores resultantes para las direcciones ajustadas es más razonable y equilibrada. Si se desea, pueden deducirse finalmente los ángulos y sus errores.

4. Constreñimientos internos

Dado en general el sistema de ecuaciones de observación $A x - t = v$ donde la (m,n) -matriz A es de rango $r < n < m$, los constreñimientos internos del ajuste vienen dados por las relaciones $D x = 0$, donde la (d,n) -matriz D , con $d=n-r$, verifica:

$$A D^T = 0$$

La construcción de la matriz D puede realizarse de diversas formas.

De forma analítica, y ya que la (m,n) -matriz A es de rango $r < n$, podremos expresarla, reorganizando las columnas, en la forma:

$$A = (A_1 \ A_2)$$

donde la (m,r) -matriz A_1 es de rango r (y, por tanto, $A_1^T A_1$ es regular). Llamamos x_1, x_2 a las incógnitas correspondientes a las submatrices A_1, A_2 y llamamos D_1, D_2 a las (d,r) - y (d,d) - submatrices de D correspondientes a x_1, x_2 respectivamente. El sistema de ecuaciones y constreñimientos quedará en la forma:

$$(A_1 \ A_2) \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} - t = v$$

$$(D_1 \ D_2) \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = 0$$

Para que $A D^T = 0$ podemos tomar:

$$D_2 = -I, \quad D_1^T = (A_1^T A_1)^{-1} A_1^T A_2,$$

siendo I la (d,d) -matriz identidad ($d=n-r$ deficiencia de rango).

Desde un punto de vista geométrico, basta deducir la relación matricial del tipo:

$$dx = G dp$$

que expresa el efecto de pequeñas 'traslaciones' y/o 'rotaciones' y/o 'cambios de escala' (según que el sistema tenga indeterminancias en 'traslación' y/o 'rotación' y/o 'escala'), representados en el vector columna dp , sobre los parámetros incógnita x . En estas circunstancias se demuestra que puede tomarse (Blaha, 1971):

$$D = G^T$$

En nuestro caso resulta más inmediata esta última técnica. El efecto de una pequeña 'traslación' \emptyset (constante aditiva) sobre los parámetros es:

$$(\delta d_1, \dots, \delta d_n) = \emptyset (1, \dots, 1)$$

Con lo que la única ecuación de constreñimientos internos se reduce a:

$$(1, \dots, 1) \begin{pmatrix} \delta d_1 \\ \vdots \\ \delta d_n \end{pmatrix} = 0$$

es decir:

$$\sum_{i=1}^n \delta d_i = 0 .$$

La interpretación física de esta ecuación es clara. Impone que el conjunto de las direcciones ajustadas conserve la orientación global de las direcciones provisionales.

5. Resolución del sistema conjunto

Los constreñimientos internos representan un caso especial en la técnica de ajuste con constre-

ñimientos. Supondremos ahora el caso general de un sistema de m ecuaciones de observación y c ecuaciones de constreñimientos con n parámetros incógnita, y tal que si el rango de la matriz A de las ecuaciones de observación es r entonces $c \geq n-r$. Podemos escribir dicho sistema en la forma:

$$A_1 x_1 + A_2 x_2 - t = v$$

$$D_1 x_1 + D_2 x_2 - t_c = 0,$$

con A_1 $(m, n-c)$ -matriz de rango completo y D_2 (c, c) -matriz invertible, y sea P la (m, m) -matriz de pesos.

Siguiendo el método de Perelmuter (Perelmuter, 1979), la solución mínimos cuadrados con constreñimientos se obtiene despejando x_2 en los constreñimientos, sustituyendo en las ecuaciones de observación, resolviendo el sistema resultante

$$\bar{A} x_1 - \bar{t} = v,$$

de rango completo, en x_1 (con $\bar{A} = A_1 - A_2 D_2^{-1} D_1$ y $\bar{t} = t - A_2 D_2^{-1} t_c$), y calculando con \hat{x}_1 la solución para x_1 .

Se obtiene finalmente:

$$\hat{x} = \begin{pmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I \\ \bar{D} \end{pmatrix} \hat{x}_1 + \begin{pmatrix} 0 \\ \bar{t}_c \end{pmatrix}$$

con $\bar{D} = -D_2^{-1} D_1$, $\bar{t} = D_2^{-1} t_c$, $\hat{x}_1 = (\bar{A}^T P \bar{A})^{-1} \bar{A}^T P \bar{t}$.

La matriz cofactor conjunta es:

$$Q_{\hat{x}\hat{x}} = \begin{bmatrix} Q_{\hat{x}_1, \hat{x}_1} & Q_{\hat{x}_1, \hat{x}_2} \bar{D}^T \\ \bar{D} Q_{\hat{x}_2, \hat{x}_1} & \bar{D} Q_{\hat{x}_2, \hat{x}_2} \bar{D}^T \end{bmatrix}$$

con $Q_{\hat{x}_1, \hat{x}_1} = (\bar{A}^T P \bar{A})^{-1}$ y la varianza de la unidad

de peso $\hat{\sigma}_0^2$ es

$$\hat{\sigma}_0^2 = \hat{\mathbf{v}}^T \mathbf{P} \hat{\mathbf{v}} / (m-n+c)$$

En nuestro caso:

$c = 1$, $t_c = 0$, $D_2 = 1$, $D_1 = (1, \dots, 1)$, $\bar{t} = t$, $\bar{D} = (-1, \dots, -1)$ y, por ejemplo, $\mathbf{x}_2 = \delta d_1$, de donde $\mathbf{x}_1 = (\delta d_2, \dots, \delta d_n)$, $\bar{\mathbf{A}} = (\bar{a}_k)$, $k = 1, \dots, m$, $(m, 1)$ -matriz de elementos $\bar{a}_k = a_{k1} - \sum_{l=2}^n a_{kl}$, etc.

La resolución resulta entonces bastante sencilla, obteniéndose finalmente los valores ajustados \hat{d}_i , $i=1, \dots, n$ para las direcciones y la matriz de varianzas-covarianzas correspondiente.

Según la teoría de ajuste con constreñimientos internos, la solución hallada verifica:

$$\hat{\mathbf{v}}^T \mathbf{P} \hat{\mathbf{v}} = \text{mín.} \quad (\text{mínimos cuadrados}),$$

$$\sum (\delta \hat{d}_i)^2 = \text{mín.} \quad (\text{norma mínima}),$$

$$\text{tr. } Q_{\hat{\mathbf{d}}} \hat{\mathbf{d}} = \text{mín.} \quad (\text{mínimo sesgo}),$$

$$\sum \hat{d}_i = \sum d_i^c.$$

6. Conclusión y subrutina

Siguiendo este proceso, y a partir de los diversos ángulos resultantes de la observación en una vuelta de horizonte, determinamos unos valores compensados de las orientaciones de las direcciones, unos valores de los errores resultantes, y también los valores compensados de los ángulos y sus errores. Este proceso tiene, como hemos dicho, las ventajas de su sencilla programación y la posibilidad de obtener directamente unos valores de los errores para las direcciones y los ángulos. Así mismo, el proceso ilustra de forma sencilla el método de compensación con constreñimientos internos.

Como anexo adjuntamos una subrutina en FORTRAN IV que realiza la compensación de estación apoyándose en la subrutina MIN11 de resolución mínimos

cuadrados (Sevilla, 1979), dejando finalmente las direcciones referidas a una de ellas (la primera) que sirve de origen.

En la subrutina entran como argumentos:

- K1 = denominación numérica (número de dos dígitos) del vértice estación,
- NA = número de ángulos resultantes de la observación,
- ND = número de direcciones,
- IJ = vector de ND componentes, con IJ(k): denominación numérica (número de dos dígitos) del vértice visado k-ésimo, $k=1, \dots, ND$,
- ANG = matriz de orden 7 (si $ND \leq 7$) inicializada a cero y tal que, para cada par de direcciones observadas i, j , sea $ANG(i, j)$: ángulo (en grados sexagesimales) entre las direcciones i -ésima y j -ésima,
- EM = matriz de orden 7 con $EM(i, j)$: error medio (en segundos sexagesimales) supuesto para el ángulo (i, j) .

La aplicación de estos resultados al ajuste de una triangulación resulta fácil añadiendo también como incógnita la constante de orientación de la vuelta de horizonte.

Agradecimientos

Agradecemos al Prof. Sevilla sus acertados consejos y la gentileza de permitirnos incluir su subrutina MINII.

Este trabajo se encuadra dentro del proyecto nº ID. 451 del C.S.I.C., que se desarrolla en el Instituto de Astronomía y Geodesia.

REFERENCIAS

- Bjerhammar, A., 1973. *Theory of Errors and Generalized Matrix Inverses*. Elsevier Scient. Pub. Co., Amsterdam-London-New York.
- Blaha, G., 1971. *Inner adjustment constraints with emphasis on the range observations*. Report 148. Department of Geod. Sci., Ohio State Univ.
- Perelmuter, A., 1979. *Adjustment of Free Networks*, Bulletin Geodesique 53.4.
- Sevilla, M.J., 1979. *Inversión de matrices simétricas en el método de mínimos cuadrados*. Boletín de Inf. 44. Servicio Geográfico del Ejército. Madrid.

C*****

C COMPENSACION DE ESTACION

C*****

SUBROUTINE COMES(K1,NA,NC,IJ,ANG,EM)

IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)

DIMENSION ANG(7,7),A(49,7),EM(7,7),C(7),IJ(7),S(7,7)

C

C CALCULO DE DIRECCIONES PROVISIONALES

C

DO 1 I=1,ND

1 D(I)=0.

D(1)=1.

13 DO 2 I=1,ND

DO 2 J=1,ND

IF(ANG(I,J).EQ.0.) GO TO 3

IF(D(I).NE.0.) D(J)=D(I)+ANG(I,J)

IF(D(J).NE.0.) D(I)=D(J)-ANG(I,J)

3 CONTINUE

IF(ANG(J,I).EQ.0.) GO TO 2

IF(D(I).NE.0.) D(J)=D(I)-ANG(J,I)

IF(D(J).NE.0.) D(I)=D(J)+ANG(J,I)

2 CONTINUE

E=D(1)

DO 4 K=1,NC

IF(D(K).EQ.0.) GO TO 13

D(K)=D(K)-E

IF(D(K).LT.0.) D(K)=D(K)+360.

IF(D(K).GE.360.) D(K)=D(K)-360.

4 CONTINUE

IF(NA.LT.NC) GO TO 11

C

C FORMACION DE LA MATRIZ DE ECUACIONES DE RESERVACION

C

K=ND*ND

DO 5 I=1,K

DO 5 J=1,ND

5 A(I,J)=0.

K=0

DO 6 I=1,ND

DO 6 J=1,ND

IF(ANG(I,J).EQ.0.) GO TO 6

K=K+1

IF(I.NE.1) A(K,I-1)=-1.

IF(J.NE.1) A(K,J-1)= 1.

A(K,ND)=-(ANG(I,J)-D(J)+D(I))*3600.

IF(D(J).LT.D(I)) A(K,ND)=A(K,ND)+360.*3600.

C

C SISTEMA REDUCIDO Y PONDERACION DE LAS OBSERVACIONES

C

E=0.

IF(I.EQ.1) E= 1.

IF(J.EQ.1) E=-1.

DO 7 L=1,ND-1

7 A(K,L)=(A(K,L)+E)/EM(I,J)

A(K,ND)=A(K,ND)/EM(I,J)

6 CONTINUE

C

C RESOLUCION MINIMOS CUADRADOS

C

CALL MINIMI(NA,ND,A,S)

E=S(ND,ND)

```

C
C SOLUCIONES Y MATRIZ DE VARIANZAS-COVARIANZAS
C
      C=0.
      DO 12 I=2,ND
12  C=C+S(ND,I-1)
      DO 8 I=2,ND
      D(I)=D(I)+(S(ND,I-1)+C)/3600.
      DO 8 J=2,ND
      8  A(I,J)=S(I-1,J-1)*E**2
      S(1,1)=0.
      DO 14 I=2,ND
      S(1,I)=0.
      S(I,1)=0.
      DO 14 J=2,ND
      S(I,J)=A(I,J)
      S(1,I)=S(1,I)-A(J,I)
      S(I,1)=S(I,1)-A(I,J)
14  S(1,1)=S(1,1)+A(I,J)

C
C ESCRITURA DE LAS SOLUCIONES
C
      WRITE(6,201) ND,NA
11  DO 9 I=1,ND
      CS=DSQR1(S(I,I))
      IF(NA.LT.ND) DS=999.
      WRITE(7,300) K1,IJ(I),IJ(1),D(I),CS
      9  WRITE(6,202) K1,IJ(I),D(I),DS
      IF(NA.LT.ND) GO TO 15

C
C ANGULOS OBSERVADOS Y COMPENSADOS
C
      WRITE(6,203)
      DO 10 I=1,ND
      DO 10 J=1,ND
      IF(ANG(I,J).EQ.0.) GO TO 10
      AN=D(I)-D(J)
      IF(AN.LT.0.) AN=360.+AN
      IF(AN.GT.360.) AN=AN-360.
      C=(AN-ANG(I,J))*3600.
      DS=DSQR1(S(I,I)+S(J,J)-2*S(I,J))
      WRITE(6,204) IJ(I),K1,IJ(J),ANG(I,J),EM(I,J),O,AN,DS
10  CONTINUE

C
C EMC DEL AJUSTE
C
      WRITE(6,205) E

C
201 FORMAT(1H1// 40X,'COMPENSACION DE ESTACION'/40X,4('-----')///
-20X,'DIRECCIONES OBSERVADAS: ',I2,10X,'ANGULOS MEDIDOS: ',I2///
119X,'DIRECCION',8X,'VALOR COMPENSADO (GRD)',4X,'EMC (SEG)'/ )
202 FORMAT(20X,I2,'-',I2,16X,F10.6,11X,F5.1/ )
203 FORMAT(/// 10X,'ANGULO',6X,'VALOR OBSERVADO',6X,'EMC',7X,
-'CORRECCION',5X,'VALOR COMPENSADO',5X,'EMC'/27X,'GRD',13X,'SEG',
111X,'SEG',14X,'GFD',12X,'SEG'/)
204 FORMAT(8X,I2,'-',I2,'-',I2,6X,F10.6,7X,F6.2,8X,F6.2, 9X,F10.6,
-7X,F5.1/)
205 FORMAT(///10X,'E.M.C. DEL AJUSTE: ',F6.2,' SEC')
300 FORMAT(3I2,F5.5,F5.1)
15  RETURN
      END

```

C 程序程序以内部函数和内部函数为函数函数函数函数函数函数函数函数

C RESOLUCION MINIMOS CUADRADOS

C 程序程序程序程序程序程序程序程序程序程序程序程序程序程序程序程序程序

```
SUBROUTINE MINI1(NN,N2,A,S)
REAL*8 A(49,7),S(7,7)
N=N2-1
N1=N-1
DO 1 I=1,N2
CO 1 J=1,N2
S(I,J)=0.
IF(I.GT.J) GO TO 1
DO 1 L=1,NN
S(I,J)=S(I,J)+A(L,I)*A(L,J)
1 CONTINUE
S(1,1)=1./DSQRT(S(1,1))
DO 2 J=2,N
2 S(1,J)=S(1,J)*S(1,1)
IF(N.EQ.2) GO TO 5
CO 3 I=2,N1
I1=I-1
DO 4 J=I,N
CO 4 L=1,I1
4 S(I,J)=S(I,J)-S(L,I)*S(L,J)
S(I,I)=1./DSQRT(S(I,I))
I1=I+1
CO 3 J=I1,N
3 S(I,J)=S(I,J)*S(I,I)
5 DO 6 L=1,N1
6 S(N,N)=S(N,N)-S(L,N)*S(L,N)
S(N,N)=1./DSQRT(S(N,N))
DO 7 I=1,N1
I1=I+1
DO 7 J=I1,N
J1=J-1
DO 8 L=I,J1
8 S(J,I)=S(J,I)-S(L,I)*S(L,J)
7 S(J,I)=S(J,I)*S(J,J)
DO 9 I=1,N
CO 9 J=1,N
S(I,J)=S(J,I)*S(J,J)
IF(J.EQ.N) GO TO 9
J1=J+1
CO 10 L=J1,N
10 S(I,J)=S(I,J)+S(L,I)*S(L,J)
9 S(J,I)=S(I,J)
CO 11 I=1,N
DO 12 J=1,N
12 S(N2,I)=S(N2,I)-S(I,J)*S(J,N2)
11 S(N2,N2)=S(N2,N2)+S(N2,I)*S(I,N2)
S(N2,N2)=DSQRT(S(N2,N2)/DFLOAT(NN-N))
DO 13 I=1,N
13 S(I,N2)=DSQRT(S(I,I))*S(N2,N2)
RETURN
END
```

COMPENSACION DE ESTACION

DIRECCIONES OBSERVADAS: 7

ANGULOS MEDIDOS: 7

DIRECCION	VALOR COMPENSACION (GRD)	EMC (SEG)
E- 5	0.000000	0.2
8-10	70.580474	0.2
E-11	56.612748	0.2
8- 7	156.07666	0.2
E- 1	214.443466	0.7
8- 2	263.763256	0.2
E- 6	311.085728	0.3

ANGULO	VALOR OBSERVADO GRD	EMC SEG	CORRECCION SEG	VALOR COMPENSACION GRD	EMC SEG
5- 8-10	70.580473	0.06	0.00	70.580474	0.1
10- 8-11	26.032274	0.06	0.00	26.032275	0.1
11- 8- 7	56.464917	0.06	0.00	56.464917	0.1
7- 8- 1	56.265660	1.12	0.50	56.365800	0.8
1- E- 2	45.315449	1.75	1.23	45.315750	0.9
2- 8- 6	47.322472	0.06	0.00	47.322472	0.1
6- 8- 5	48.514237	0.57	0.13	48.514272	0.5

E.M.C. DEL AJUSTE: 0.86 SEG

PUBLICACIONES DEL INSTITUTO DE ASTRONOMIA Y GEODESIA
DE LA UNIVERSIDAD COMPLUTENSE — MADRID

(Antes Seminario de Astronomía y Geodesia)

- 1.—Efemérides de 63 Asteroides para la oposición de 1950 (1949).
- 2.—E. PAJARES: Sobre el cálculo gráfico de valores medios (1949).
- 3.—J. PENSADO: Orbita del sistema visual σ^2 U Maj (1950).
- 4.—Efemérides de 79 Asteroides para la oposición de 1951 (1950).
- 5.—J. M. TORROJA: Corrección de la órbita del Asteroide 1395 "Aribeda" (1950).
- 6.—R. CARRASCO y J. M. TORROJA: Rectificación de la órbita del Asteroide 1371 "Resi" (1971).
- 7.—J. M. TORROJA y R. CARRASCO: Rectificación de la órbita del Asteroide 1560 (1942 XB) y efemérides para la oposición de 1951 (1951).
- 8.—M. L. SIEGRIST: Orbita provisional del sistema visual Σ 728-32 Orionis (1951).
- 9.—Efemérides de 79 Asteroides para la oposición de 1952 (1951).
- 10.—J. PENSADO: Orbita provisional de Σ 1883 (1951).
- 11.—M. L. SIEGRIST: Orbita provisional del sistema visual Σ 2052 (1952).
- 12.—Efemérides de 88 Asteroides para la oposición de 1953 (1952).
- 13.—J. PENSADO: Orbita de ADS 9380 = Σ 1879 (1952).
- 14.—F. ALCÁZAR: Aplicaciones del Radar a la Geodesia (1952).
- 15.—J. PENSADO: Orbita de ADS 11897 = Σ 2438 (1952).
- 16.—B. RODRÍGUEZ-SALINAS: Sobre varias formas de proceder en la determinación de períodos de las marcas y predicción de las mismas en un cierto lugar (1952).
- 17.—R. CARRASCO y M. PASCUAL: Rectificación de la órbita del Asteroide 1528 "Conrada" (1953).
- 18.—J. M. GONZÁLEZ-ABOIN: Orbita de ADS 1709 = Σ 228 (1953).
- 19.—J. BALTÁ: Recientes progresos en Radioastronomía. Radiación solar hiperfrecuente (1953).
- 20.—J. M. TORROJA y A. VÉLEZ: Corrección de la órbita del Asteroide 1452 (1938 DZ) (1953).
- 21.—J. M. TORROJA: Cálculo con Cracovianos (1953).
- 22.—S. AREND: Los polinomios ortogonales y su aplicación en la representación matemática de fenómenos experimentales (1953).
- 23.—J. M. TORROJA y V. BONGERA: Determinación de los instantes de los contactos en el eclipse total de Sol de 25 de febrero de 1952 en Cogo (Guinea Española) (1954).
- 24.—J. PENSADO: Orbita de la estrella doble Σ 2 (1954).
- 25.—J. M. TORROJA: Nueva órbita del Asteroide 1420 "Radcliffe" (1954).
- 26.—J. M. TORROJA: Nueva órbita del Asteroide 1557 (1942 AD) (1954).
- 27.—R. CARRASCO y M. L. SIEGRIST: Rectificación de la órbita del Asteroide 1290 "Albertine" (1954).
- 28.—J. PENSADO: Distribución de los períodos y excentricidades y relación período-excentricidad en las binarias visuales (1955).
- 29.—J. M. GONZÁLEZ-ABOIN: Nueva órbita del Asteroide 1372 "Haremari" (1955).
- 30.—M. DE PASCUAL: Rectificación de la órbita del Asteroide 1547 (1929 CZ) (1955).
- 31.—J. M. TORROJA: Orbita del Asteroide 1554 "Yugoslavia" (1955).
- 32.—J. PENSADO: Nueva órbita del Asteroide 1401 "Lavonne" (1956).
- 33.—J. M. TORROJA: Nuevos métodos astronómicos en el estudio de la figura de la Tierra (1956).
- 34.—D. CALVO: Rectificación de la órbita del Asteroide 1466 "Mündleira" (1956).
- 35.—M. L. SIEGRIST: Rectificación de la órbita del Asteroide 1238 "Predappia" (1956).

- 36.—J. PENSADO: Distribución de las inclinaciones y de los polos de las órbitas de las estrellas dobles visuales (1956).
- 37.—J. M. TORROJA y V. BONGERA: Resultados de la observación del eclipse total de Sol de 30 de junio de 1954 en Sydkoster (Suecia) (1957).
- 38.—ST. WIERZBINSKI: Solution des équations normales par l'algorithme des cracoviens (1958).
- 39.—J. M. GONZÁLEZ-ABOIN: Rectificación de la órbita del Asteroide 1192 "Prisma" (1958).
- 40.—M. LÓPEZ ARROYO: Sobre la distribución en longitud heliográfica de las manchas solares (1958).
- 41.—F. MÚGICA: Sobre la ecuación de Laplace (1958).
- 42.—F. MARTÍN ASÍN: Un estudio estadístico sobre las coordenadas de los vértices de la triangulación de primer orden española (1958).
- 43.—ST. WIERZBINSKI: Orbite améliorée de h 4530 = γ Cen = Cpd—48°, 4965 (1958).
- 44.—D. CALVO BARRENA: Rectificación de la órbita del Asteroide 1164 "Kobolda" (1958).
- 45.—M. LÓPEZ ARROYO: El ciclo largo de la actividad solar (1959).
- 46.—F. MÚGICA: Un nuevo método para la determinación de la latitud (1959).
- 47.—J. M. TORROJA: La observación del eclipse de 2 de octubre de 1959 desde El Aaiun (Sahara) (1960).
- 48.—J. M. TORROJA, P. JIMÉNEZ-LANDI y M. SOLÍS: Estudio de la polarización de la luz de la corona solar durante el eclipse total de Sol del día 2 de octubre de 1959 (1960).
- 49.—E. PAJARES: Sobre el mecanismo diferencial de un celóstato (1960).
- 50.—J. M. GONZÁLEZ-ABOIN: Sobre la diferencia entre los radios vectores del elipsoide internacional y el esferoide de nivel (1960).
- 51.—J. M. TORROJA: Resultado de las observaciones del paso de Mercurio por delante del disco solar del 7 de noviembre de 1960 efectuadas en los observatorios españoles (1961).
- 52.—F. MÚGICA: Determinación de la latitud por el método de los verticales simétricos (1961).
- 53.—M. LÓPEZ ARROYO: La evolución del área de las manchas solares (1962).
- 54.—F. MÚGICA: Determinación simultánea e independiente de la latitud y longitud mediante verticales simétricos (1962).
- 55.—P. DíEZ-PICAZO: Elementos de la órbita de la variable eclipsante V 499 Scorpionis (1964).
- 56.—J. M. TORROJA: Los Observatorios Astronómicos en la era espacial (1965).
- 57.—F. MARTÍN ASÍN: Nueva aportación al estudio de la red geodésica de primer orden española y su comparación con la red compensada del sistema europeo (1966).
- 58.—F. SÁNCHEZ MARTÍNEZ: La Luz Zodiacal. Luz del espacio interplanetario (1966).
- 59.—J. M. GONZÁLEZ-ABOIN: Variaciones de las coordenadas geodésicas de los vértices de una red, por cambio de elipsoide de referencia (1966).
- 60.—F. SÁNCHEZ MARTÍNEZ y R. DUMONT: Fotometría absoluta de la raya verde y del continuo atmosférico en el Observatorio Astronómico del Teide (Tenerife), de enero de 1964 a julio de 1965 (1967).
- 61.—M. REGO: Estudio del espectro de la estrella 31 Aql. en la región $\lambda\lambda$ 4000-6600 Å (1969).
- 62.—C. MACHÍN: Mareas terrestres (1969).
- 63.—J. M. TORROJA: La estación para la observación de satélites geodésicos de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Madrid (1969).
- 64.—M. J. SEVILLA: Reducción automática de posiciones de estrellas (1970).
- 65.—J. M. TORROJA: Memoria de las actividades del Seminario de Astronomía y Geodesia de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Madrid en 1969 (1970).
- 66.—M. J. SEVILLA: Los cálculos de estación en triangulación espacial (1970).
- 67.—MANUEL E. REGO: Determinación de las abundancias de los elementos en la atmósfera de la estrella de alta velocidad 31 Aql. (1970).
- 68.—M. J. FERNÁNDEZ-FIGUEROA: Análisis cualitativo del espectro de la estrella peculiar HD 18474 (1971).
- 69.—J. M. TORROJA: Memoria de las actividades del Seminario de Astronomía y Geodesia de la Universidad Complutense de Madrid en 1970 (1971).

- 70.—R. VIEIRA y R. ORTIZ: Descripción de un aparato para medida de coordenadas (1971).
- 71.—J. M. TORROJA: Memoria de las actividades del Seminario de Astronomía y Geodesia de la Universidad Complutense de Madrid en 1971 (1972).
- 72.—M. J. FERNÁNDEZ-FIGUEROA: Observación y estudio teórico del espectro de la estrella peculiar HD 18474 (1972).
- 73.—M. J. SEVILLA: Cálculo de las constantes de distorsión y parámetros del disco obturador para cámaras balísticas (1973).
- 74.—R. PARRA y M. J. SEVILLA: Cálculo de efemérides y previsiones de pasos de satélites geodésicos (1973).
- 75.—M. REGO y M. J. FERNÁNDEZ-FIGUEROA: Resultado de las observaciones de α Peg efectuadas desde el satélite europeo TDI (1973).
- 76.—E. SIMONNEAU: Problemas en la determinación de abundancias de elementos en las estrellas en condiciones de equilibrio termodinámico local y alejadas del equilibrio termodinámico local (1974).
- 77.—J. ARANDA: Construcción de modelos de estructura interna para estrellas en la secuencia principal inicial (1974).
- 78.—R. ORTIZ, M. J. SEVILLA y R. VIEIRA: Estudio de la calibración, técnica de medida y automatización de datos en un comparador para medidas de placas estelares (1974).
- 79.—M. J. SEVILLA: Método autocorrector para el cálculo de direcciones de satélites geodésicos y análisis de los errores en la restitución de un arco de órbita (1974).
- 80.—M. A. ACOSTA, R. ORTIZ y R. VIEIRA: Diseño y construcción de un fotómetro fotoeléctrico para la observación de ocultaciones de estrellas por la Luna (1974).
- 81.—T. J. VIVES, C. MORALES, J. GARCÍA-PELAYO y J. BARBERO: Fotometría fotográfica UBV del cúmulo galáctico King 19 (1974).
- 82.—R. ORTIZ y R. VIEIRA: Control automático en posición y tiempo de los sistemas de obturación de las cámaras de observación de satélites geodésicos (1974).
- 83.—J. M. TORROJA: Memoria de las actividades del Seminario de Astronomía y Geodesia de la Universidad Complutense de Madrid en 1972 y 1973 (1974).
- 84.—M. J. FERNÁNDEZ-FIGUEROA y M. REGO: α CrB en el ultravioleta lejano (1975).
- 85.—J. M. TORROJA, R. VIEIRA, R. ORTIZ y M. J. SEVILLA: Estudio de mareas terrestres en España (1975).
- 86.—M. J. SEVILLA y R. PARRA: Levantamiento gravimétrico de Lanzarote (1975).
- 87.—P. KUNDANMAL SUKHWANI: Modelos teóricos de curvas de luz. Su aplicación al sistema β Lyrae (1975).
- 88.—M. J. SEVILLA: Coordenadas astronómicas y geodésicas. Desviación relativa de la vertical (1975).
- 89.—C. TEJEDOR: Fotometría fotoeléctrica R. G. U. del cúmulo galáctico IC 2581 (1976).
- 90.—M. J. SEVILLA: Nuevos coeficientes para la reducción automática de posiciones de estrellas (1976).
- 91.—M. REGO: Técnicas observacionales en espectroscopía astrofísica (1976).
- 92.—M. J. SEVILLA: Determinación de la latitud por distancias cenitales de la polar, método de Littrow (1976).
- 93.—T. J. VIVES: Determinación fotométrica del tipo espectral de la componente desconocida de una estrella binaria eclipsante (1976).
- 94.—M. REGO y M. J. FERNÁNDEZ-FIGUEROA: Contraste y determinación por métodos astrofísicos de fuerzas de oscilador (1977).
- 95.—M. J. SEVILLA y R. CHUECA: Determinación de acimutes por observación de la Polar. Método micrométrico (1977).
- 96.—JOSÉ M. GARCÍA-PELAYO: Fotometría R G U en un campo del anticentro galáctico, cerca del NGC 581 (1977).
- 97.—JOSÉ M. GARCÍA-PELAYO: Datos fotométricos de 2.445 estrellas estudiadas en la región de Casiopea, entre los cúmulos abiertos Trumpler 1 y NGC 581 (1977).
- 98.—PREM K. SUKHWANI y RICARDO VIEIRA: Spectral Analysis of Earth Tides (1977).
- 99.—JOSÉ M. TORROJA y RICARDO VIEIRA: Earth Tides in Spain. Preliminary results (1977).
- 100.—PREM K. SUKHWANI y RICARDO VIEIRA: Three different methods for taking in account the gaps in spectral analysis of Earth Tides records (1978).

(continúa en la cuarta de cubierta)

- 101.—R. VIEIRA: Mareas terrestres (1978).
- 102.—M. J. SEVILLA y A. NÚÑEZ: Determinación de la longitud por el método de Mayer. Programas de cálculo automático (1979).
- 103.—M. J. SEVILLA y A. NÚÑEZ: Determinación de la latitud por el método de Sterneck. Programas de cálculo automático (1979).
- 104.—M. J. SEVILLA: Determinación de la latitud y la longitud por el método de alturas iguales. Programas de cálculo automático (1979).
- 105.—P. K. SUKHWANI y A. GIMÉNEZ: Corrección de efectos atmosféricos para imágenes tomadas desde satélites Landsat (1979).
- 106.—M. J. SEVILLA: Inversión de matrices simétricas en el método de mínimos cuadrados (1979).
- 107.—A. GIMÉNEZ: Análisis de la curva de luz del sistema binario eclipsante S Velorum (1979).
- 108.—M. J. SEVILLA: Determinación del acimut de una referencia por observación de la estrella polar. Programa de cálculo automático (1979).
- 109.—M. J. SEVILLA: El sistema IAU (1976) de constantes astronómicas y su repercusión en la reducción de posiciones de estrellas (Primera parte) (1980).
- 110.—M. J. SEVILLA y R. PARRA: Determinación de la latitud por el método de Horrebow-Talcott. Programas de Cálculo Automático (1980).
- 111.—M. J. SEVILLA: Determinación de la latitud y la longitud por fotografías cenitales de estrellas (1980).
- 112.—R. VIEIRA y M. OREJANA: Comunicaciones presentadas en las XLI y XLII Jornadas del Grupo de Trabajo de Geodinámica del Consejo de Europa. Luxemburgo (1979-80).
- 113.—M. J. SEVILLA: Sobre un método de cálculo para la resolución de los problemas geodésicos directo e inverso (1981).
- 114.—R. VIEIRA, J. M. TORROJA, C. TORO, F. LAMBAS, M. OREJANA y P. K. SUKHWANI: Comunicaciones presentadas en el IX Symposium Internacional de Mareas Terrestres. Nueva York (1981).
- 115.—M. A. MONTULL, M. J. SEVILLA y A. GONZÁLEZ-CAMACHO: Aplicación de la V. L. B. I. al estudio del movimiento del Polo (1981).
- 116.—A. GONZÁLEZ-CAMACHO y M. J. SEVILLA: Algunas relaciones entre diferentes ejes que se consideran en la rotación de la Tierra (1981).
- 117.—R. VIEIRA, F. LAMBAS y E. GIMÉNEZ: Modificaciones realizadas en un gravímetro LaCoste Romberg mod. G para su utilización en registro continuo de la gravedad (1981).
- 118.—R. VIEIRA: La microrred de mareas gravimétricas del Sistema Central (1981).
- 119.—J. M. TORROJA y R. VIEIRA: Informe sobre el desarrollo del programa de investigación sobre mareas terrestres en el último bienio (1981).
- 120.—F. LAMBAS y R. VIEIRA: Descripción, estudio de la precisión y aplicaciones geodésicas y geofísicas de los nuevos niveles de lectura electrónica (1981).
- 121.—M. J. SEVILLA: Programación del método de la cuerda (1981).
- 122.—J. M. TORROJA: Historia de la Ciencia Árabe. Los Sistemas Astronómicos (1981).
- 123.—M. J. SEVILLA y R. VIEIRA: Comunicaciones presentadas en la Sesión Científica de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, celebrada el día 13 de enero de 1982 (1982).
- 124.—M. J. SEVILLA y P. ROMERO: Aplicación del método de colocación a la reducción de placas fotográficas de estrellas (1982).
- 125.—M. J. SEVILLA y A. G. CAMACHO: Deformación rotacional de una tierra elástica (1982).
- 126.—M. J. SEVILLA y P. ROMERO: Obtención de las medidas de la precisión en la determinación de la latitud y la longitud por fotografías cenitales de estrellas (1982).
- 127.—M. J. SEVILLA, A. G. CAMACHO y P. ROMERO: Comunicaciones presentadas en la IV Asamblea Nacional de Astronomía y Astrofísica. Santiago de Compostela (1983).
- 128.—M. J. SEVILLA: El sistema IAU (1976) de constantes astronómicas y su repercusión en la reducción de posiciones de estrellas (Segunda parte) (1983).
- 129.—M. J. SEVILLA: Geodesia por satélites y navegación (1983).
- 130.—L. GARCÍA ASENSIO, A. G. CAMACHO, P. ROMERO y M. J. SEVILLA: Comunicaciones presentadas en la V Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica (1983).

(continúa en la segunda de cubierta)

- 131.—M. J. SEVILLA: Anomalías de la gravedad basadas en el sistema geodésico de referencia 1980 (1983).
- 132.—J. M. TORROJA: Historia de la Física hasta el siglo XIX. La Mecánica Celeste (1983).
- 133.—A. G. CAMACHO y M. J. SEVILLA: The Molodensky Problem for an homogeneous liquid core (1984).
- 134.—J. M. TORROJA: La obra astronómica de Alfonso X El Sabio (1984).
- 135.—H. MORITZ: Sistemas de referencia en Geodesia (1984).
- 136.—H. MORITZ: Rotación de la Tierra (1984).
- 137.—A. G. CAMACHO y M. J. SEVILLA: Autofrecuencias del movimiento del Polo para un modelo de Tierra de tipo Jeffreys Molodensky (1984).
- 138.—J. M. TORROJA: Nuevas definiciones en el problema de la medida del tiempo (1984).
- 139.—M. J. SEVILLA: Astronomía Geodésica (1984).
- 140.—M. J. SEVILLA y M. D. MARTÍN: Diseño de una Microrred en la Caldera del Teide para el estudio de deformaciones de la corteza en la zona (1986).
- 141.—R. VIEIRA, C. DE TORO y V. ARAÑA: Estudio Microgravimétrico en la Caldera del Teide (1986).
- 142.—M. J. SEVILLA, M. D. MARTÍN y A. G. CAMACHO: Análisis de Datos y Compensación de la primera campaña de observaciones en la Caldera del Teide (1986).
- 143.—M. J. SEVILLA y P. ROMERO: Hamiltonian Formulation of the polar motion for an elastic earth's model (1986).
- 144.—P. ROMERO y M. J. SEVILLA: The Sasao-Okubo-Saito equations by Hamilton Theory. First Results (1986).
- 145.—R. VIEIRA, M. J. SEVILLA, A. G. CAMACHO y M. D. MARTÍN: Geodesia de precisión aplicada al control de movimientos y deformaciones en la Caldera del Teide (1986).
- 146.—R. VIEIRA, J. M. TORROJA, C. DE TORO, B. DUCARME, J. KAARIAINEN, E. MEGÍAS y J. FERNÁNDEZ: Comunicaciones presentadas en el X Symposium Internacional de Mareas Terrestres. Madrid, 1985 (1986).
- 147.—M. J. SEVILLA, A. G. CAMACHO y P. ROMERO: Comunicaciones presentadas en el X Symposium Internacional de Mareas Terrestres. Madrid, 1985 (1986).
- 148.—M. J. SEVILLA: Formulación de modelos matemáticos en la compensación de redes Geodésicas: III Curso de Geodesia Superior (1986).
- 149.—H. LINKWITZ: Compensación de grandes redes geodésicas: III Curso de Geodesia Superior (1986).
- 150.—H. HENNEBERG: Redes geodésicas de alta precisión: III Curso de Geodesia Superior (1986).
- 151.—M. J. SEVILLA: Cartografía Matemática (1986).
- 152.—P. ROMERO y M. J. SEVILLA: Tratamiento Canónico del problema de Poincare. Movimiento del Polo. (1986)